

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-215998

(P2000-215998A)

(43)公開日 平成12年8月4日 (2000.8.4)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
H 05 G 2/00

識別記号

F I  
H 05 G 1/00

テマコード(参考)  
K 4 C 0 9 2

審査請求 未請求 請求項の数 5 OL (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平11-16807

(22)出願日 平成11年1月26日 (1999.1.26)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 近藤 洋行

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内

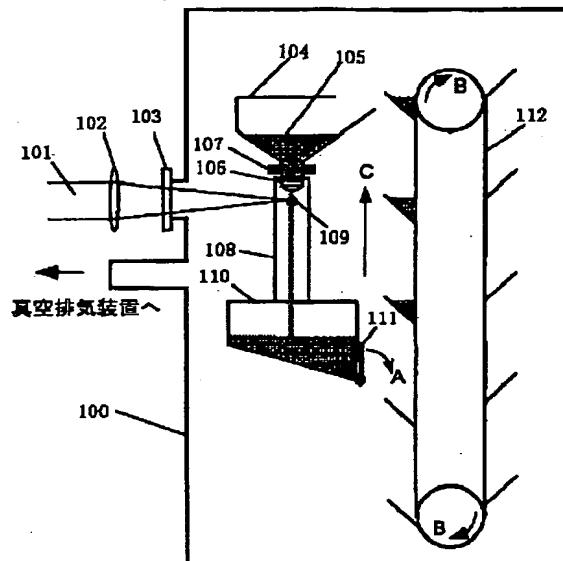
Fターム(参考) 4C092 AA06 AA15 AB21 AC09

(54)【発明の名称】 X線発生装置及びX線装置

(57)【要約】

【課題】 標的物質をテープ状、ワイヤー状、薄膜状(テープ基板上)に加工することなく、或いは前記加工ができない標的物質であっても、連続的に供給することができるLPXと、該LPXを備えたX線装置を提供すること。

【解決手段】 減圧された容器100内の標的物質にパルスレーザー光101を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマ109より輻射されるX線を利用するX線発生装置において、前記標的物質の形態を微粒子状または液体状とし、その標的物質105を開口106より自由落下させ、落下中の標的物質に前記パルスレーザー光101を集光することを特徴とするX線発生装置。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 減圧された容器内の標的物質にパルスレーザー光を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマより輻射されるX線を利用するX線発生装置において、

前記標的物質の形態を微粒子状または液体状とし、その標的物質を開口より自由落下させ、落下中の標的物質に前記パルスレーザー光を集光することを特徴とするX線発生装置。

【請求項2】 減圧された容器内の標的物質にパルスレーザー光を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマより輻射されるX線を利用するX線発生装置において、

前記標的物質の形態を微粒子状または液体状とし、その標的物質を遠心力により開口から噴出させ、噴出した標的物質に前記パルスレーザー光を集光することを特徴とするX線発生装置。

【請求項3】 前記標的物質は、微粒子状物質または液体状物質のうちの一方または両方から選択した二種類以上の物質が混合されたものであることを特徴とする請求項1または2記載のX線発生装置。

【請求項4】 前記開口より落下あるいは噴出させた標的物質を回収し、再使用することを特徴とする請求項1～3記載のX線発生装置。

【請求項5】 請求項1～4記載のX線発生装置を備えたX線装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、X線装置（X線顕微鏡、X線分析装置、X線露光装置など）のX線源として用いて好適なX線発生装置と、該X線発生装置を備えたX線装置に関するものである。

## 【0002】

【従来技術】減圧された容器内の標的物質にパルスレーザー光を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマより輻射されるX線を利用するX線発生装置（レーザープラズマX線源、LPX）は、高輝度でありながら小型であることから、実験室サイズのX線装置（例えば、X線顕微鏡やX線分析装置など）用の光源として注目されている。

【0003】また、LPXは標的物質によりX線スペクトルの形状やX線波長が変わるために、用途に応じた使用が可能である。例えば、標的物質として炭素や酸素の様な軽元素を使用すると、離散的なラインスペクトルが得られるので、X線の単色性が要求される光電子分析装置の光源に適している。

【0004】また、標的物質として金やタンクスチタンのような重元素を使用すると、広い波長範囲にわたるブロードなスペクトルが得られるので、分光器により分光して波長をスキャンしながら反射率を測定する反射率測定

装置の光源に適している。しかしながら、LPXを実用化するに当たっては、装置の運転効率を上げるために、長時間にわたってLPXを運転できるようにすることが不可欠である。よって、標的物質は長時間連続的に供給できなければならない。

【0005】ところで、LPXにおいて標的物質にレーザーを照射したとき、標的物質により構成される標的部材が掘られるので、標的部材の同一位置へレーザーを多数回照射すると、レーザーが標的部材を貫通してしまう。そこで、標的部材にレーザーを1ショットまたは数ショット照射した後は、例えば標的部材を移動させて、標的部材の別の位置にレーザーを照射する必要がある。

【0006】そのため、従来のX線発生装置では①標的部材（標的物質）をテープ状にする、②テープ状基板の上に標的物質を成膜して標的部材とする、③標的部材（標的物質）をワイヤー状にする、などして標的部材を長時間使用できるようにしていた。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかし、標的部材をテープ状やワイヤー状にしたとしても、その長さは有限であり、いずれは標的部材を交換する必要がある。そして、標的部材交換の際にはLPXと、LPXを光源とするX線装置の運転を停止する必要があり、そのためLPX及びX線装置の運転効率が低下するという問題がある。

【0008】また、連続使用できる標的物質はテープ状、ワイヤー状、または薄膜状（テープ基板上）に加工できる必要があり、使用できる標的物質が制限されるという問題がある。ところで、X線露光装置等においては、スループットを良くする上でLPXの繰り返し周波数はできるだけ高い方がよく、繰り返し周波数が数kHz程度のものが必要とされる。そして、この場合にテープ状またはワイヤー状の標的部材の供給速度は数mm/sec程度が必要であるため、供給方法が困難になるという問題がある。

【0009】さらに、LPXではプラズマやプラズマ近傍の標的物質から放出される飛散粒子が問題となる。飛散粒子の形態はイオン状、原子状、クラスター状の極めて小さく軽い粒子のものから、直径数μm～数10μm程度にまで及ぶ熔融された液滴状のものまで様々である。

そして、液滴状の重くて大きい飛散粒子はX線光学素子に衝突すると、光学素子を破損してしまう。また、原子状の小さな飛散粒子はX線光学素子上に付着堆積し、次第にその性能（反射率や透過率）を低下させてしまう。

【0010】従って、飛散粒子量の少ないLPXを提供することが大きな課題となっている。そこで、この課題を解決する方法の一つとして、直径10cmの円盤状ターゲット部材を高速回転（40,000回転/分、円盤の接線方向の速度は約200mm/sec）させ、その円周近傍にレーザー光を照射することにより、レーザー照射点近

傍から放出された飛散粒子の方向を円盤の慣性力により回転方向に集中させる試みが行われている (L. A. Shma enok et al., Proceedings of the Conf. On Applications of Laser Plasma Radiation II, SPIE 2523, 12-14 July 1995)。

【0011】しかしながら、この方法では、円盤の大きさに限りがあるため、所定のショット数をレーザー照射した後にターゲットを交換する必要があった。そして、ターゲット交換の際には真空容器の真空を破る必要（即ち、LPXと、LPXを光源とするX線装置の運転を中断する必要）があり、LPX及びX線装置の運転効率が著しく低下するという問題がある。

【0012】本発明は、かかる従来技術の問題に鑑みてなされたものであり、標的物質をテープ状、ワイヤー状、薄膜状（テープ基板上）に加工することなく、或いは前記加工ができない標的物質であっても、連続的に供給することができるLPXと、該LPXを備えたX線装置を提供することを目的とする。さらに、本発明は、飛散粒子量の少ないLPX、目的に適したX線スペクトル分布が得られるLPXと、これらのLPXを備えた運転効率の高いX線装置を提供することを目的とする。

### 【0013】

【課題を解決するための手段】そのため、本発明は第一に「減圧された容器内の標的物質にパルスレーザー光を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマより輻射されるX線を利用するX線発生装置において、前記標的物質の形態を微粒子状または液体状とし、その標的物質を開口より自由落下させ、落下中の標的物質に前記パルスレーザー光を集光することを特徴とするX線発生装置（請求項1）」を提供する。

【0014】また、本発明は第二に「減圧された容器内の標的物質にパルスレーザー光を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマより輻射されるX線を利用するX線発生装置において、前記標的物質の形態を微粒子状または液体状とし、その標的物質を遠心力により開口から噴出させ、噴出した標的物質に前記パルスレーザー光を集光することを特徴とするX線発生装置（請求項2）」を提供する。

【0015】また、本発明は第三に「前記標的物質は、微粒子状物質または液体状物質のうちの一方または両方から選択した二種類以上の物質が混合されたものであることを特徴とする請求項1または2記載のX線発生装置（請求項3）」を提供する。また、本発明は第四に「前記開口より落下あるいは噴出させた標的物質を回収し、再使用することを特徴とする請求項1～3記載のX線発生装置（請求項4）」を提供する。

【0016】また、本発明は第五に「請求項1～4記載のX線発生装置を備えたX線装置（請求項5）」を提供する。

### 【0017】

【発明の実施の態様】減圧された容器内の標的物質にパルスレーザー光を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマより輻射されるX線を利用する本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置においては、標的物質の形態を殆どの物質がとりうる形態である微粒子状または液体状としている。

【0018】即ち、テープ状、ワイヤー状、薄膜状（テープ基板上）に加工することができない物質でも、微粒子状または液体状にすることは殆どの場合に可能である。例えば、窒化硼素(BN)、B4C、SiCなどのセラミックスは、テープ状に加工することは困難であるが、これらの微粒子は容易に形成することができる。そして、従来はテープ状等に加工することができないため、LPXの標的物質として使用できなかった物質でも、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置では、微粒子状または液体状にすることで使用可能となり、従来よりも多種類の標的物質が使用できる。

【0019】従って、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置によれば、様々な波長やスペクトル形状のX線を発生させることができあり、従来よりも波長やスペクトル形状の選択幅が広がるので、目的に適したX線スペクトル分布が得られる。また、標的物質を微粒子状または液体状とした本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置においては、簡単な構成により容易に標的物質を連続供給することができる。

【0020】即ち、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置においては、標的物質をテープ状、ワイヤー状、薄膜状（テープ基板上）に加工することなく、或いは前記加工ができない標的物質であっても、簡単な構成により容易かつ連続的に供給することができる。例えば、本発明にかかるX線発生装置においては、微粒子状または液体状の標的物質を開口より自由落下させることにより標的物質を連続供給して、落下中の標的物質にパルスレーザー光を集光している。

【0021】この実施形態を図3を引用して具体的に説明する。なお、図3では標的物質の形態が微粒子状であるが、液体状であっても同様である。ロート状の標的溜まり301内には微粒子状の標的物質303が蓄積されており、その下にはノズル302が取り付けられている。標的溜まり301内の微粒子303は重力によりノズル302から砂時計のように自由落下する。

【0022】この時、ノズルの開口から落下した微粒子の速度vは、重力加速度をgとし、ノズルの開口を出るときの速度をv0、ノズル開口から出てからの経過時間をtとすると、 $v = g t + v_0$ となる。そして、落下途中の微粒子状の標的物質303aにレーザー光304を照射することにより、プラズマ305を生成させてX線を輻射させる。標的物質303aを真空中で落下させるため、落下途中で微粒子群が広がって行くことがなく（ノズル302から離れてても標的物質の数密度が減少せ

ず)、レーザー照射位置をノズル302から離すことができる。

【0023】即ち、レーザー照射位置をノズル302から離すことにより、プラズマ305から放出された高速電子やイオンがノズル302に衝突して、ノズルを削り取ることが無いようになることができる。このとき、微粒子の落下は連続的に行なっても良いし、ノズル開口部にシャッターなどを備え付け、間欠的に微粒子が落下するようしてもよい。レーザー光の繰り返し周波数が低い場合、微粒子を連続的に落下させ続けても、そのほとんどはレーザー光によって照射されずに落下するので、微粒子状の標的物質が無駄に消費されてしまう。

【0024】そこで、この様な場合には、レーザー発光する直前にノズルに備え付けられているシャッターを開いて、微粒子状の標的物質を落下させるようにすれば、微粒子状標的物質の消費量を低減することができる。また例えば、本発明にかかるX線発生装置においては、微粒子状または液体状の標的物質を遠心力により開口から噴出させて標的物質を連続供給し、噴出した標的物質にパルスレーザー光を集光している。

【0025】このように、遠心力により標的物質を開口から噴出せば、自由落下のときよりも速い速度で標的物質を連続供給することができる(請求項2)。この実施形態を図4を引用して具体的に説明する。なお、図4では標的物質の形態が微粒子状であるが、液体状であっても同様である。標的物質である微粒子402はロート状の標的溜まり401内に蓄積されている。標的溜まり401の底面には穴が開いており、微粒子402はこの穴から下の円盤403内に落下する。円盤403は図4(a)に示す様にその断面は円周方向に行くにつれて狭くなっている。

【0026】また、円盤側面の円周上の二カ所には開口が設けられている。円盤403はその中心を軸に高速に回転しており、円盤内に落下した微粒子402は遠心力により円周方向に移動して、各開口からそれぞれ放出される。開口より放出された微粒子402aは円盤のほぼ接線方向へ高速に飛翔する。ここで、円盤403の回転の角速度を $\omega$  [rad/sec]とし、円盤の半径を $r$  [m]とすると、円盤の円周の速度 $v$ は $v = r\omega$  [m/sec]となる。微粒子は円盤の開口からこれとほぼ同等の速度で円盤のほぼ接線方向に放出される。

【0027】そして、放出された飛翔中の微粒子402aの群にレーザー光を照射することによりプラズマ化してX線を輻射させるが、このときプラズマから放出された飛散粒子は慣性力により微粒子の飛翔方向に軌道を変える。そのため、微粒子流の飛翔方向とは反対の方向や横の方向に飛んでくる飛散粒子の数は減少する。そこで、この位置にX線光学素子を配置することにより、光学素子に向かう飛散粒子を低減させて、飛散粒子による光学素子の特性劣化や損傷を抑制または防止することが

できる。

【0028】このとき、微粒子の放出は連続的に行なっても良いし、開口部にシャッターなどを備え付け、間欠的に微粒子を放出させるようにしてもよい。レーザー光の繰り返し周波数が低い場合、微粒子を連続的に放出させ続けても、そのほとんどはレーザー光によって照射されないので、微粒子状の標的物質が無駄に消費されてしまう。

【0029】そこで、この様な場合には、レーザー発光する直前に開口に備え付けられているシャッターを開いて、微粒子状の標的物質を放出させるようにすれば、微粒子状標的物質の消費量を低減することができる。本発明にかかる標的物質としては、微粒子状または液体状の单一物質のみならず、微粒子状物質と液体状物質との両方から選択した二種類以上の物質が混合されたものも使用可能である(請求項3)。

【0030】即ち、本発明にかかる標的物質は、標的物質が微粒子状または液体状であるため、容易に複数の物質(微粒子状または液体状)を混合させて標的物質を構成することが可能であり、かかる標的物質にレーザー光を照射することにより、所望の(目的に適した)X線スペクトル分布を有するX線を輻射させることができる。

【0031】例えば、LPXからのX線を回折格子を用いて分光し、波長スキャンを行いながらミラーやフィルターの反射率や透過率の波長依存性を測定する装置においては、LPXから輻射されるX線のスペクトル分布は、できる限りフラットであることが好ましい。ところが、均一なスペクトル強度分布は、1種類の標的物質により実現するのは難しいので、互いに補完しあうスペクトル強度分布を有する複数の物質(微粒子状または液体状)を混合して標的物質(微粒子状または液体状)を構成し、かかる標的物質にレーザー光を照射することにより、均一な強度分布を有するX線スペクトルを得る(輻射させる)ことができる。

【0032】本発明にかかるX線発生装置では、開口より落下あるいは噴出させた標的物質を回収し、再使用することが好ましい(請求項4)。例えば、開口より落下あるいは噴出させた標的物質を回収して再び標的溜まり301、401に戻すことにより、半永久的に標的物質を供給し続けることが可能となり、装置のランニングコストを低減することができる。

【0033】本発明(請求項1~5)にかかる標的物質としては、例えば、錫(Sn)や銅(Cu)等の元素単体、ハンダ等の合金、塩(NaCl)の様な化合物、または窒化硼素(BN)の様なセラミックスが使用できる。また、本発明(請求項1~5)にかかる標的物質の大きさは、直径数mm以下であることが好ましく、どんなに小さなものでも良くその下限は特に制限されない。

【0034】また、標的物質(微粒子状または液体状)が落下する開口またはノズルは、或いは標的物質が放出

される開口またはノズルは、標的物質が通過できる大きさを有すればよく、その上限は特に制限されない。また、開口やノズルの形状は、円形、楕円形、三角形、四角形、線状、円弧状など、どんな形状であっても良い。本発明（請求項1～5）においては、重力や遠心力を利用して標的物質を送出（供給）しているので、標的物質以外の物質による影響を受けない。

【0035】これに対して、従来技術のように微粒子状の標的物質をガスとともに噴出させて供給することができるが、この場合には、レーザー光照射により、噴出用のガスも標的物質と一緒にプラズマ化してしまうので、標的物質以外の物質（ガス）に起因するスペクトルが混ざったX線が輻射されることとなる。また、前記従来技術の場合には、真空中にガスを噴出させて急激に周囲に向かってガスが膨張し、微粒子状の標的物質もガスと一緒に周囲に拡散してしまう。そして、ノズルからの距離が離れるにつれて急激に標的物質の数密度が減少する。

【0036】そのため、前記従来技術の場合には、X線強度を上げるために、標的物質の数密度が高いノズル近傍において標的物質にレーザーを照射する必要があり、プラズマからの高速電子やイオンによりノズルが削り取られるという問題が生じる。一方、本発明では、標的物質の供給（落下、噴出）にガスを使用していないので、前記従来技術が有する問題は生じない。

【0037】本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置を備えたX線装置（請求項5）では、標的物質を連続供給できるので従来よりも運転効率が高い。また、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置を備えたX線装置（請求項5）では、従来よりも多種類の標的物質が使用できるので、様々な波長やスペクトル形状のX線を発生させて利用することが可能であり、従来よりも波長やスペクトル形状の選択幅が広がる（目的に適したスペクトル分布のX線が使用できる）。

【0038】さらに、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置を備えたX線装置（請求項5）では、従来よりも光学素子に向かう飛散粒子を低減させて、飛散粒子による光学素子の特性劣化や損傷を抑制または防止することができる。以下、本発明を実施例により具体的に説明するが、本発明はこれらの例に限定されるものではない。

### 【0039】

【実施例1】減圧された容器100内の標的物質105にパルスレーザー光101を集光して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマ109より輻射されるX線を利用する本実施例のX線発生装置（図1参照）では、標的物質105の形態を微粒子状とし、その標的物質105をノズル106の開口より自由落下させ、落下中の標的物質にパルスレーザー光101を集光している。

### 【0040】容器100内は真空排気装置（図示せず）に

より排気され、レーザー光101が途中で気中放電したり、プラズマ109から輻射されたX線が吸収されて著しく減衰しない程度の圧力まで減圧されている。標的溜まり104内には、標的物質105である微粒子状の窒化硼素（BN）が蓄積されており、BNの平均粒径は約1μmである。

【0041】標的溜まり104の底にはノズル106が取り付けられて、ノズル106の先端には直径100μmの開口が開いており、BN微粒子はこの開口を通過して下に落下する。ノズル106にはピエゾ素子107が取り付けられて、このピエゾ素子107により僅かな振幅の振動をノズル106に与えることにより、ノズルが微粒子により詰まらないようにしている。

【0042】パルスレーザー光101は、ノズル106から落下しつつあるBN微粒子群の上にレンズ102により集光されてプラズマ109を生成する。プラズマ109から輻射されたX線は、X線光学素子（不図示）を用いた光学系に取り込まれる。ノズル106及び落下途中のBN微粒子群は、パイプ108により覆われている。このパイプ108は、プラズマから放出される飛散粒子や落下するBN微粒子が容器100内に散乱したり付着して、容器内を汚すことがないように取り付けられている。

【0043】パイプ108には、レーザー光を入射させる開口と、それに対向する位置にあるレーザー光を出射させる開口と、X線を取り出すための開口が設けられている。レーザー光出射用の開口は、レーザー光軸のアライメントのために設けられており、アライメントが終了した後はこの開口は封鎖しても良い。

【0044】パイプ108は、標的物質の回収容器110に接続されており、落下したBN粒子の殆ど全てはこの容器内に回収されて蓄えられる。落下したBN粒子が回収容器110内にある一定量溜まつたら、回収容器110に設けられた扉111をA方向に倒して、容器内に溜まつたBN微粒子をベルトコンベヤー112に取り付けられた搬送用容器内に流し込む。

【0045】ベルトコンベヤー112の駆動滑車はB方向に回転しており、搬送用容器はC方向に移動する。そして、頂上付近まで来たら、搬送用容器内のBN微粒子を標的溜まり104内に流入させる。このように一度使用した標的物質を回収して再利用することにより、標的物質を半永久的に供給し続けることが可能となり、ランニングコストを低減することができる。

【0046】BN微粒子105が微粒子表面に付着した吸着水等により、標的溜まり104内で互いにくつき合って固まりとなる場合には、標的溜まり内でBN微粒子105攪拌したり、標的溜まり104をヒーターなどにより加熱して、微粒子表面の吸着水を蒸発させることにより、固まりとならないようにすればよい。本実施例では、標的物質にBNを用いているが、これに限定され

ることはなくどのような標的物質であっても良い。例えば、複数の微粒子状物質を混合した標的物質であっても良い。

【0047】また、常温で微粒子状でなくても、低温状態で固化させこれを微粒子状としても良い。例えば、二酸化炭素( $CO_2$ )やクリプトン(Kr)は常温で气体であるが、 $CO_2$ の場合には-209°C以下で固化し、Krの場合には-156.6°C以下で固化する。このように低温で固化した物質を粉碎して微粒子状にした標的物質を用いても良い。

【0048】

【実施例2】減圧された容器200内の標的物質205にパルスレーザー光201を集光して該標的物質205をプラズマ化し、該プラズマ209より輻射されるX線を利用する本実施例のX線発生装置(図2参照)では、標的物質205の形態を微粒子状とし、その標的物質205を遠心力により開口から噴出させ、噴出した標的物質にパルスレーザー光201を集光している。

【0049】本実施例では、標的物質として $B_4C$ の微粒子を用いており、微粒子の平均粒径は約0.1μmである。なお、装置構成は実施例1とほぼ同様であるので、異なる部分のみ詳しく説明する。標的溜まり204の中に蓄積されている $B_4C$ の微粒子205はノズル206から円盤207のほぼ中心部分に向けて落下する。円盤207の断面構造は図4(a)の様になっており、円盤207の側面の円周上には直径100μmの二つの開口が開けられている。また、円盤207はモーター208の駆動により高速に回転している。

【0050】円盤207に落下した $B_4C$ の微粒子205は、円盤の回転運動により速やかに円周方向に移動して、前記開口から噴出される。そして、円盤207の回転と同期してレーザー光201が丁度円盤の開口から噴出された $B_4C$ の微粒子205に照射されるように制御されており、レーザー光照射により $B_4C$ の微粒子205がプラズマ化してX線が輻射される。

【0051】ここで、円盤207の開口から放出(噴出)された $B_4C$ の微粒子205が容器200内に散乱しないように、円盤207の周辺をカバー213により覆い、放出された $B_4C$ の微粒子を回収している。カバー213には、標的溜まり204からの $B_4C$ 微粒子を導入する穴と、レーザー光を導入する穴と、X線を取り出す一つ以上の穴がそれぞれ設けられ、さらに底面には、回収された $B_4C$ 微粒子を容器210に流入させるための穴が設けられている。

【0052】容器210に集められた $B_4C$ 微粒子は、実施例1のようにベルトコンベヤー212により運搬されて、標的溜まり204に戻される。このため、標的物質を容器外部から供給することなしに半永久的に使用することができる。円盤207から放出された微粒子は、実施例1における自由落下に比べて速度が速いので、プラ

ズマから放出される飛散粒子は慣性力により、その飛翔方向を微粒子の放出方向に変えられる。

【0053】従って、レーザー光集光レンズ等の光学素子やX線光学素子を微粒子流の横方向の位置または反対側の位置に配置すれば、これら光学素子上へ付着する飛散粒子量を低減することができる。本実施例では、微粒子を遠心力により放出させる手段として円盤を用いたが、回転する物体であればどのような形状のものでも良い。例えば、棒状の物体を回転させて、その先端から微粒子を放出させても良い。

【0054】また、 $B_4C$ 微粒子205が微粒子表面に付着した吸着水等により、標的溜まり204や円盤207内で互にくっつき合って固まりとなる場合には、標的溜まり内に $B_4C$ 微粒子205を攪拌したり、標的溜まり204や円盤207をヒーターなどにより加熱して、微粒子表面の吸着水を蒸発させて固まりとなならないようにすればよい。

【0055】本実施例では標的物質として $B_4C$ を用いているが、これに関わらずどのような物質であっても良く、複数の微粒子状物質を混合した標的物質であっても良い。また、常温で微粒子状でなくても、低温状態で固化させこれを微粒子状としても良い。例えば、二酸化炭素( $CO_2$ )やクリプトン(Kr)は常温で气体であるが、 $CO_2$ の場合には-209°C以下で固化し、Krの場合には-156.6°C以下で固化する。このように低温で固化した物質を粉碎して微粒子状にした標的物質を用いても良い。

【0056】実施例1、2では標的物質を循環させるためのベルトコンベヤーを真空容器内に設置していたが、これは真空容器の外に配置しても良い。また、実施例1、2では標的物質の循環手段としてベルトコンベヤーを用いているが、これに限らず他の循環手段を用いても良い。例えば、ガス流を形成してこのガスの流れに微粒子状の標的物質をのせて標的溜まりまで搬送しても良い。

【0057】実施例1、2では微粒子状の標的物質を用いたが、これは液体状の標的物質でも良い。例えば、水( $H_2O$ )やアルコール、オイル(拡散ポンプ用のオイルなど)であってもよい。また、標的物質は必ずしも常温において液体状である必要はない。加熱や冷却することにより液体状として、これを開口から自由落下させたり遠心力で噴出させても良い。

【0058】例えば、錫(Sn)を231.97°C以上に加熱して液体状とし、これを用いても良い。或いは、クリプトン(Kr)を-156.6°C~-153.4°Cに冷却して液体状とし、これを用いても良い。実施例1、2では1種類の標的物質のみを用いたが、複数の物質を混合して用いても良い。この場合には、微粒子状の物質同士を混合しても良いし、液体状の物質同士を混合しても良いし、液体状の物質中に微粒子状の標的物質を混ぜ込んで混濁液として用いても良い。

【0059】実施例1、2にかかるX線発生装置によれば、標的物質を連続供給できるので従来よりも運転効率が高い。また、実施例1、2にかかるX線発生装置によれば、従来よりも多種類の標的物質が使用できるので、様々な波長やスペクトル形状のX線を発生させることができ、従来よりも波長やスペクトル形状の選択幅が広がる（目的に適したX線スペクトル分布が得られる）。

【0060】さらに、実施例1、2にかかるX線発生装置によれば、従来よりも光学素子に向かう飛散粒子を低減させて、飛散粒子による光学素子の特性劣化や損傷を抑制または防止することができる。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置によれば、様々な波長やスペクトル形状のX線を発生させることができ、従来よりも波長やスペクトル形状の選択幅が広がるので、目的に適したX線スペクトル分布が得られる。

【0062】また、標的物質を微粒子状または液体状とした本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置においては、簡単な構成により容易に標的物質を連続供給することができる。本発明（請求項2）にかかるX線発生装置においては、微粒子状または液体状の標的物質を遠心力により開口から噴出させているので、自由落下のときよりも速い速度で標的物質を連続供給することができる。

【0063】本発明にかかる標的物質としては、微粒子状または液体状の单一物質のみならず、二種類以上の物質が混合されたもの（微粒子状または液体状）も使用可能である（請求項3）。即ち、本発明にかかる標的物質は、標的物質が微粒子状または液体状であるため、容易に複数の物質（微粒子状または液体状）を混合させて標的物質を構成することができ、かかる標的物質にレーザー光を照射することにより、所望の（目的に適した）X線スペクトル分布を有するX線を輻射させることができる。

【0064】本発明にかかるX線発生装置では、開口より落下あるいは噴出させた標的物質を回収し、再使用することが好ましい（請求項4）。例えば、開口より落下あるいは噴出させた標的物質を回収して再び標的溜まり301、401に戻すことにより、半永久的に標的物質を供給し続けることが可能となり、装置のランニングコストを低減することができる。

【0065】本発明（請求項1～5）においては、重力や遠心力をを利用して標的物質を送出（供給）しているので、標的物質以外の物質による影響を受けない。本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置を備えたX線装置（請求項5）では、標的物質を連続供給できるので従来よりも運転効率が高い。また、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置を備えたX線装置（請求項

5）では、従来よりも多種類の標的物質が使用できるので、様々な波長やスペクトル形状のX線を発生させて利用することが可能であり、従来よりも波長やスペクトル形状の選択幅が広がる（目的に適したスペクトル分布のX線が使用できる）。

【0066】さらに、本発明（請求項1～4）にかかるX線発生装置を備えたX線装置（請求項5）では、従来よりも光学素子に向かう飛散粒子を低減させて、飛散粒子による光学素子の特性劣化や損傷を抑制または防止することができる。本発明によれば、連続的に標的物質を供給できるので、X線源の動作を止めることなく長時間使用できる。

【0067】また、標的物質を回収して再使用するので、標的物質にかかるコストを低減できる。また、テープ状やワイヤー状に加工できない物質をも標的物質として使用することができる、装置に使用するX線の波長領域やスペクトル形状の選択の範囲を広げることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】は実施例1のX線発生装置を示す概略構成図である。

【図2】は実施例2のX線発生装置を示す概略構成図である。

【図3】は本発明にかかる、自然落下を利用した標的物質の連続的な供給方法を示す概念図である。

【図4】は本発明にかかる、遠心力を利用した標的物質の連続的な供給方法を示す概念図である。

#### 【主要部分の符号の説明】

100、200…真空容器

101, 201…レーザー光

102, 202…レンズ

103, 203…窓

104, 204…標的溜まり

105, 205…微粒子状の標的物質

106, 206…ノズル

107…ピエゾ振動子

207…円盤

108…パイプ

208…モーター

109, 209…プラズマ

110…標的回収容器

210…容器

111, 211…扉

112, 212…ベルトコンベヤー

213…カバー

301…標的溜まり

302…ノズル

303…粒子状の標的物質

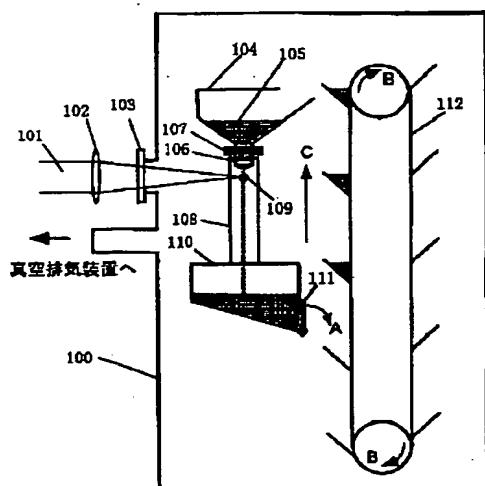
304…レーザー光

305…プラズマ

401…標的溜まり  
402…粒子状の標的物質

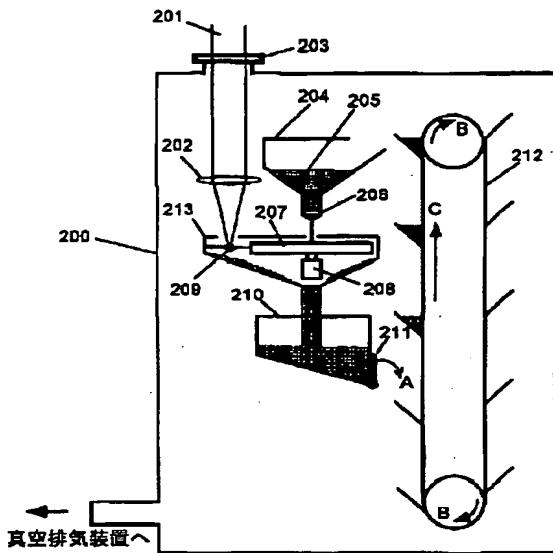
403…円盤  
以上

【図1】



【図3】

【図2】



【図4】

